

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ И КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТУ НА ЭМИССИЮ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Постников А.М., Лавров В.Н., Цыбизов Ю.И., Беляев В.В.

ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара.

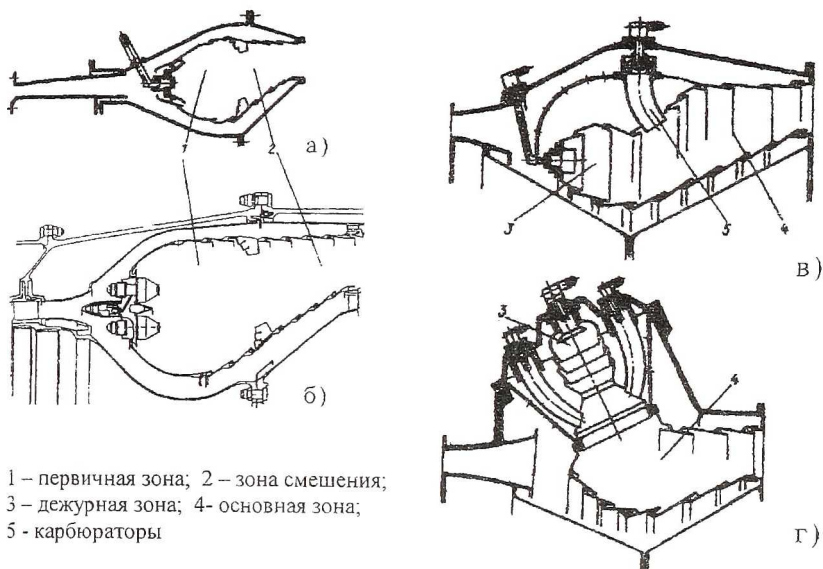
Недостаточная изученность механизмов образования и подавления эмиссии вредных веществ (оксидов азота NO_x и углерода CO) при сгорании углеводородных топлив в камерах сгорания (КС) ГТД обуславливает поиск и внедрение новых технологий организации процесса горения. Это, в свою очередь, вызывает появление длительного и дорогостоящего специального этапа отработки КС с целью получения требуемых экологических характеристик [1].

В связи с этим ниже рассмотрены некоторые вопросы комплексного подхода к созданию малоэмиссионной КС с учетом влияния режимных параметров, сложности отработки и управления рабочим процессом, трудоемкости изготовления и эксплуатационной эффективности.

В СНТК им. Н.Д. Кузнецова накоплен опыт создания различных типов КС, в том числе и применительно к конвертируемым авиационным двигателям для наземного применения. В частности, обобщены экологические характеристики ГТУ как с умеренными (степень повышения давления компрессора $\pi_k < 13$), так и с высокими ($\pi_k > 20$) параметрами термодинамического цикла. К первой группе таких ГТУ относятся двигатели НК-16СТ и НК-18СТ, используемые в газоперекачивающих агрегатах ГПА-Ц16, ко второй – НК-38СТ и НК-36СТ, используемые в ГПА-Ц25, ГПА-Ц25Р и ГПА "Волга".

В процессе опытной отработки названных двигателей исследован ряд вариантов КС различной конструкции в зависимости от способа организации рабочего процесса. Исследованные варианты КС представлены на рис.1. Согласно [2] их условно можно разделить на следующие виды:

- традиционные, где топливо и воздух подводятся отдельно, и горение происходит в зонах со стехиометрическим составом смеси



- 1 – корпус;
2 – жаровая труба;
3, 4 – газовый коллектор для подачи газа к центральным горелкам;
5 – газовый коллектор для подачи газа к периферийным горелкам;
6 – фронтное устройство

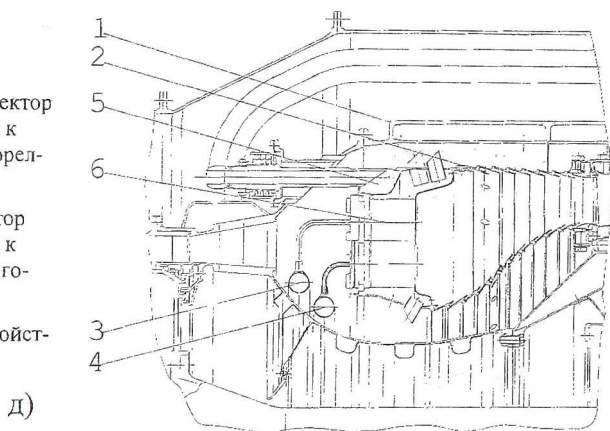


Рис. 4. Исследованные камеры сгорания

(обычно объем и длина таких КС соответствует авиационному прототипу);

- усовершенствованные традиционные с мероприятиями по снижению выброса NO_x (интенсификация смешения и обеднение топ-

ливо-воздушной смеси (ТВС), уменьшение времени пребывания в зоне горения за счет укорочения и т.д.) (рис.1.а);

- многофорсуночные авиационного типа, впервые созданные в СНТК при личном участии Н.Д. Кузнецова (рис.1.б);
- двухзонные кольцевые с частичным смешением топлива в карбюраторах (рис.1.в);
- двухзонные с выносными жаровыми трубами (ВЖТ) с полным смешением в карбюраторах (максимальное приближение к идеальному процессу горения) (рис.1.г);
- многомодульная кольцевая КС двигателя АЛ-31СТ [3] с предварительной подготовкой ТВС (рис.1.д). Этот вариант конструкции КС специально выбран для сравнения как переходный от традиционной к двухзонной с ВЖТ, имеющий такой выигрышный момент, как относительно небольшие доработки, а, значит, приемлемую трудоемкость и себестоимость.

Результаты отработки указанных вариантов КС ГТУ семейства НК в сравнении с КС двигателя АЛ-31СТ представлены в таблицах 1 и 2.

В таблице 1 приведены основные параметры термодинамического цикла, включая эффективный КПД двигателя (по данным ВНИИГАЗ [4]), параметры внедренных в серийное производство КС и величины концентраций NO_x и CO на номинальном режиме. В таблице 2 указаны дополнительные проблемные вопросы, связанные с освоением данного варианта КС.

В таблице 1 приведены основные параметры термодинамического цикла, включая эффективный КПД двигателя (по данным ВНИИГАЗ [4]), параметры внедренных в серийное производство КС и величины концентраций NO_x и CO на номинальном режиме. В таблице 2 указаны дополнительные проблемные вопросы, связанные с освоением данного варианта КС.

Влияние режимных параметров двигателя на эмиссию NO_x иллюстрируется рис.2 в виде зависимости измеренной концентрации NO_x от величины P_K^* от малого газа до максимального (ограничение по температуре газа перед турбиной). Основная особенность протекания зависимости $NO_x = f(P_K^*)$ – сначала слабый (до $P_K^* = 1,7 \text{ МПа}$), а затем резкий темп нарастания выброса NO_x (при $P_K^* > 2,0 \text{ МПа}$) в двухзонных КС.

Параметры КС				Параметр термодинамического цикла				
наработка в эксплуатации**	$\alpha_{КС}$	Количество горелок	$\eta_{эф}, \%$	$T^*_{К}, K$	$P^*_{К}, M a$	Схема КС	двигатель	
14000ч	5,2	32	29	611	0,956	Традиционная авиационного типа	НК-16СТ	
4500ч	4,75	139	31	620	1,01	Многофорсуночная авиационного типа	НК-18СТ	
—		28				Традиционная	НК-36СТ	
13000ч	3,4	28	34,5*	765	2,20	Усовершенствованная традиционная		
2500ч		28(дежурная зона), 42(осн.зона)				2-х зонная кольцевая		
—		—				Традиционная	НК-38СТ	
1200ч	3,1	11(дежурная зона), 44(осн.зона)	36,5*	790	2,45	2-х зонная с ВЖТ		
156ч						2-х зонная с ВЖТ и захлаживанием		
—		24	33,7*	—	—	Традиционная	АЛ-31СТ	
—	2,8	28(1-й ярус), 28(2-й ярус)	35*	707	1,75	Модульная 2-х зонная кольцевая		

Продолжение таблицы 1

Эмиссия (15%O ₂)				двигатель
CO, ppm	ГОСТ, ppm	NO _x (NO+NO ₂), ppm	Схема КС	
510		80	Традиционная авиационного типа	НК-16СТ
32		72	Многофорсуночная авиационного типа	НК-18СТ
20	75	280	Традиционная	НК-36СТ
≤100		≤125	Усовершенствованная традиционная	
≤240		≤75	2-х зонная кольцевая	
80		240	Традиционная	НК-38СТ
130		90	2-х зонная с ВЖТ	
200		70	2-х зонная с ВЖТ и захолаживанием	
		220	Традиционная	АЛ-31СТ
		56	Модульная 2-х зонная кольцевая	

*) По данным [4]; **) Максимальная длительная наработка в эксплуатации

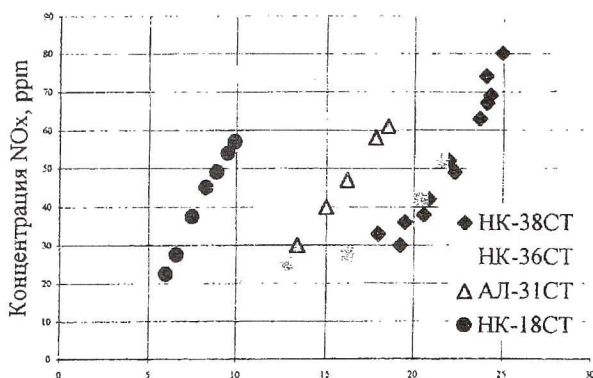


Рис. 2. Эмиссия NO_x ГТУ

Таблица 2. Проблемные вопросы организации рабочего процесса в двухзонных КС. Дополнительные стенды и установки

Двухзонная кольцевая (НК-36СТ)	Двухзонная с ВЖТ (НК-38СТ)	Многомодульная двух- зонная кольцевая
<ol style="list-style-type: none"> 1. Подготовка гомогенной ТВС. 2. Освоение экономичной системы охлаждения (автономный стенд с $P^*_{\kappa} \geq 0,5$ МПа и подогревом). 3. Проверки на отсутствие "проскока" пламени и самовоспламенения (установка для испытаний отсека с рабочими параметрами). 4. Разработка автоматической системы подачи и управления топливом (АСУ КС). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подготовка гомогенной ТВС (установка с замером полей концентраций). 2. Освоение экономичной системы охлаждения (автономный стенд). 3. Освоение толстых теплозащитных покрытий (~600мкм). 4. Проверка на отсутствие "проскока" пламени и самовоспламенения. 5. Отработка устойчивости горения бедной смеси. 6. Разработка АСУ КС. 7. Отработка требуемого температурного поля. <p>Отработка трехмерной картины течения в элементах КС (пневмо- и гидро- лоток [1]).</p>	<p>Специальная установка с подогревом воздуха и $P^*_{\kappa} = (0,4 \dots 1,75)$ МПа для отработки:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Гидравлических характеристик. 2. Устойчивости горения бедной ТВС. 3. Проверка на отсутствие "проскока" пламени и самовоспламенения. 4. Теплового состояния.

Увеличение P^*_{κ} на 10% приводит к росту концентрации NO_x на (20...25) ppm. Сопоставление данных таблицы и рис.2 показывает, что стремление к экономической эффективности ГТУ за счет повышения параметров термодинамического цикла (P^*_{κ} и T^*_{κ}), а, значит, и эффективного КПД $\eta_{эф}$, при достижении требуемого по ГОСТ уровня выброса NO_x , возможно осуществить лишь при кардинальном переходе от традиционной схемы КС к двухзонной с полным предварительным смешением ТВС.

Однако этот переход означает увеличение трудозатрат на отработку рабочего процесса и изготовление. Поданным зарубежной печати, при-

веденным, например, в [2], освоение новой системы горения привело к увеличению затрат почти в 2 раза. Это согласуется с имеющимися данными. Так переход от традиционной КС двигателя НК-36СТ к кольцевой двухзонной КС увеличил стоимость изготовления в серийном производстве более чем в 1,5 раза. В связи с этим при проектировании новой ГТУ для привода нагнетателя ГПА стоит вопрос об оптимизации параметров термодинамического цикла с учетом экологических характеристик и стоимости изготовления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриценко Е.А., Цыбизов Ю.И. Методология создания малоэмиссионных камер сгорания авиационных и конвертируемых двигателей семейства "НК". // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем.-1999.-Вып.2(8).-С.16...26.
2. Гриценко Е.А., Орлов В.Н., Постников А.М., Цыбизов Ю.И. Снижение выбросов NO_x при конвертировании авиационных двигателей. // Теплоэнергетика.-1998.-№3.-С 61...65.
3. Чепкин В.М., Марчуков Е.Ю., Куприк В.В., Федоров С.А. Организация горения в низкоэмиссионной камере сгорания ГТУ АЛ-31СТ. // Газотурбинные технологии. -1999.-Сентябрь-октябрь.-С.14...18.
4. Шуровский В.А. Новое поколение ГТУ для магистральных газопроводов. // Газотурбинные технологии.-1999.-Июль-август.-С.8...13.

УДК 621.43.056

ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВУХТОПЛИВНЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД И ГТУ

Постников А.М., Маркушин А.Н., Цыбизов Ю.И., Ярославцев В.Г.

(ОАО СНТК им. Н.Д.Кузнецова, г. Самара)

В статье представлен конспективный обзор литературных данных по особенностям организации горения газообразного и жидкого топлива применительно к малоэмиссионным двухтопливным камерам сгорания ГТУ. Отражен опыт СНТК им. Н.Д. Кузнецова по исследованию рабочего процесса в двухзонных камерах сгорания авиапроизводных высоко-